TECHNO 25

Publication technique de la SmalS-MvM

07/2003

L'enjeu des derniers kilomètres

Nick Marly est licencié en mathématiques, ingénieur civil et docteur en sciences appliquées. Après plusieurs années de recherche dans le domaine de la modélisation électromagnétique, il a exercé différentes fonctions dans le secteur public et privé, en tant qu'enseignant et chercheur, entre autre chez Alcatel, où il s'est consacré aux réseaux d'accès à haute vitesse basés sur des réseaux optiques passifs. Depuis août 2002, il travaille comme consultant dans la section Recherche de SmalS-MvM où il s'occupe essentiellement de la technologie des portails et de l'accès multicanal.

Contact : 02 510 12 02
nick.marly@smals-mvm.be

1. Introduction

Ces dernières années, l'utilisation de l'Internet enregistre une croissance exponentielle. En général, les utilisateurs privés se connectent à l'aide d'un modem analogique au réseau de leur ISP (Internet Service Provider) en passant par le réseau téléphonique. Le dernier kilomètre ('last mile' ou 'local loop' ou 'boucle locale') est la partie de la connexion qui se situe entre l'emplacement de l'utilisateur et le centre local (CO, Central Office) de l'opérateur téléphonique et constitue l'élément le plus limitant du réseau d'accès. En cas de connexion commutée classique, sur un câble de téléphone analogique, à savoir une paire torsadée en cuivre (copper twisted pair), la connexion Internet classique avec modem analogique réquisitionne complètement la ligne de téléphone. Sans technique spéciale, la ligne n'est plus disponible pour un appel classique et l'utilisateur n'est plus joignable par téléphone. La largeur de bande d'une ligne analogique avec des modems modernes est également limitée à 56 kb/s au maximum.

Le nombre d'applications qui utilisent l'Internet ne cesse d'augmenter. Au début de l'ère Internet (années 90), les applications Internet les plus utilisées étaient l'e-mail et le FTP. Les applications basées sur du texte ne se déroulaient pas en temps réel et ne nécessitaient donc que des lignes de données à assez faible débit. Mais, avec l'avènement du web mondial au milieu des années 90, de plus en plus d'informations visuelles et auditives furent mises à disposition et les e-mails furent surchargés d'annexes multimédia gourmandes en largeur de bande. L'interactivité était devenue un mot à la mode et se traduisait dans des applications allant du commerce électronique aux échanges électroniques en passant par les guichets électroniques et les espaces de travail électroniques. En outre, durant le boom de la fin des années 90, de très nombreux professionnels du marketing saisirent cette opportunité pour concevoir toute une série de nouvelles applications multimédia exigeant de plus grandes largeurs de bande en aval, comme la vidéo payante (VoD) et la diffusion de musique (TV sur Internet et stations de radio Internet). Plusieurs applications nécessitant de plus grandes largeurs de bande en amont firent également leur apparition, comme les réseaux de voix sur IP (VoIP) et les connexions peer-to-peer de partage et de distribution de musique et de films (MP3, Napster). Vu leur conception graphique de plus en plus imposante, les jeux interactifs en ligne font également partie des applications les plus gourmandes en largeur de bande et exigent des débits symétriques en amont et en aval. La Fig. 1 montre les largeurs de bande minimales et optimales nécessaires à la prise en charge de certaines de ces applications. Le réseau dorsal est déjà à même de traiter ces largeurs de bande. Cependant, les technologies des réseaux d'accès constituent aujourd'hui le goulet d'étranglement dans la prise en charge de telles applications multimédia (en temps réel).

Ce n'est pas seulement la largeur de bande qui importe. Le système téléphonique actuel nous a rendus exigeants. Les retards bouche-à-oreille (M2E) de plus de 150 ms (millisecondes) sont perçus comme dérangeants dans une conversation téléphonique normale. La norme acceptée est en général de 90 ms. La même qualité est demandée pour les applications multimédia en temps réel, comme le VoIP. Netmeeting est une application VoIP qui utilise l'Internet pour transporter la voix. Toute personne ayant déjà utilisé Netmeeting sait que les retards sont très irritants. L'Internet n'offre donc aucune garantie de qualité. Afin d'obtenir une meilleure qualité dans un réseau de données end-to-end (de bout en bout), il est essentiel d'améliorer le réseau d'accès (on accepte 30 ms de retard dans le réseau d'accès). Le qualité de la connexion ou QoS (Quality of Service) ne comprend pas uniquement des garanties de la part de l'opérateur sur la largeur de bande disponible mais aussi sur les délais de retard admis et la perte de données. Ces garanties sont fixées dans un SLA (Service Level Agreement) entre l'utilisateur et l'opérateur.

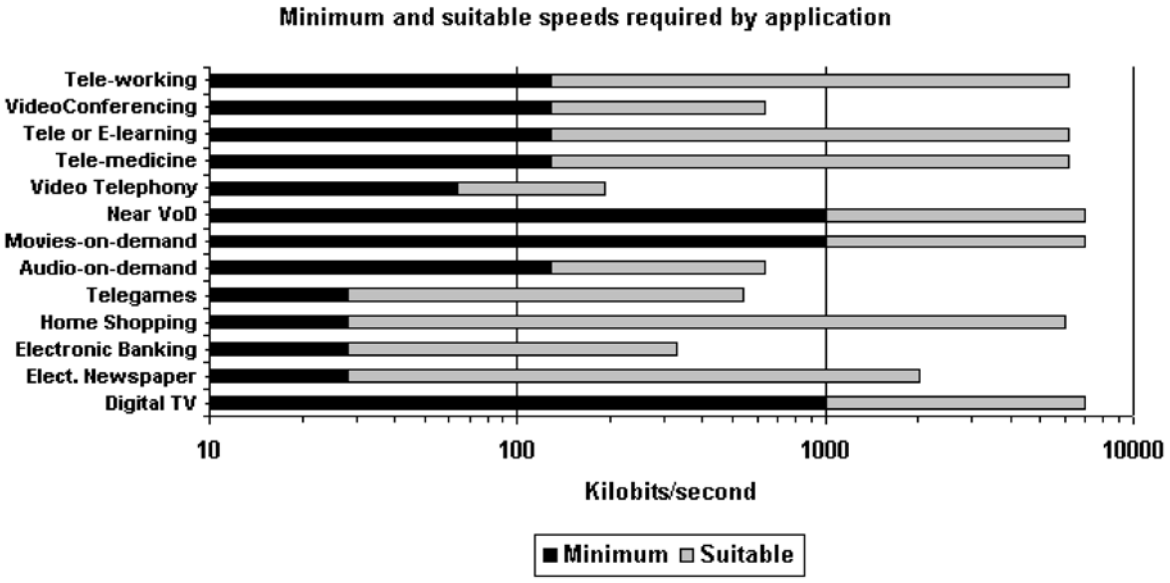

Fig. 1 Largeurs de bande minimales et optimales par application.

Les services traditionnellement proposés par les opérateurs ou providers sont la téléphonie, la vidéo et l'Internet (données). Ces services sont généralement proposés par différents providers et font appel à différents réseaux et technologies. Afin de réduire les coûts et de couvrir un marché plus large, les opérateurs souhaitent intégrer ces trois services (Triple-Service: Audio, Video, Telephony) dans un seul réseau. À cette fin, il est nécessaire d'adapter les technologies utilisées dans le dernier kilomètre à de plus grandes largeurs de bande en aval (vers l'utilisateur) et en amont (vers la centrale) et d'y intégrer la QoS.

Il existe de nouvelles technologies permettant d'offrir de plus grandes largeurs de bande et la QoS dans le dernier kilomètre. Il est possible d'adapter des infrastructures existantes, comme les lignes téléphoniques ou le câble coaxial de la télédistribution, pour qu'ils prennent en charge l'accès Internet à large bande. Via Skynet, Belgacom propose une connexion ADSL par la ligne téléphonique et Telenet utilise un câble coaxial et un modem câble. Les connexions sans fil sont également en vogue car elles permettent la mobilité mais une partie du spectre de fréquences doit leur être attribuée. L'on envisage même d'utiliser le réseau électrique comme réseau de données, tant dans le réseau d'accès que dans les maisons. Pour obtenir des largeurs de bande encore plus élevées, on peut avoir recours à la fibre optique. Cependant, cette technologie demande d'immenses investissements car l'infrastructure nécessaire n'existe pas encore. Pour amener la fibre optique jusque chez

l'utilisateur, il faut ouvrir les rues (c'est le cas en Belgique; au Royaume-Uni par exemple, les câbles sont aériens), ce qui entraîne des coûts importants et limite donc son installation aux nouvelles constructions ou aux immeubles à appartements. L'infrastructure existante (ligne téléphonique, câble coaxial) est généralement entre les mains des opérateurs historiques. Pour permettre la libre concurrence, une nouvelle législation a été élaborée afin de dégrouper la boucle locale [1] et de l'ouvrir à d'autres opérateurs que le propriétaire du dernier kilomètre.

Ces technologies ouvrent la porte à un éventail de nouvelles applications (Internet). Grâce à la vidéophonie, il est par exemple possible d'envoyer des images durant une conversation téléphonique. Si l'on a des enfants, il est possible de suivre les allées et venues de son fils et de sa fille à l'aide de Nanny Watch. La surveillance domestique en combinaison avec la domotique permet de surveiller sa maison à distance et de contrôler tous les appareils. Les sessions interactives (gouvernement électronique, apprentissage électronique) comporteront à l'avenir des formes de contact plus riches comme la reconnaissance vocale, la synthèse vocale et la reconnaissance de gestes. La «Presence» (l'endroit où l'on est) et les possibilités d'envoyer et de recevoir des messages partout et immédiatement vont considérablement s'accroître. La mise à niveau du réseau d'accès jouera un rôle important dans ce cadre.

Ce Techno donne un aperçu détaillé des technologies existantes en matière de réseaux d'accès. Les sections 2 et 3 décrivent en détail les différentes technologies d'accès. Celles-ci sont cataloguées sur la base du moyen de transmission : paires torsadées en cuivre, câble coaxial (et fibre optique), pure fibre optique et technologies sans fil. La section 2 est une introduction à la section 3, très technique, qui sert de référence. La section 4 dresse un portrait du marché des télécommunications et de la problématique à laquelle il est confronté. Les acteurs du marché et leur rôle sont décrits à la section 5. Les possibilités qui se profilent en matière de sécurité sociale et une conclusion sont formulées aux sections 6 et 7. Des références et une vaste liste d'acronymes sont disponibles aux sections 8 et 9.

2. Contexte du Réseau d'accès

Sans vouloir trop détailler la technologie qui le sous-tend, l'on peut situer le réseau d'accès dans le contexte d'une connexion de bout en bout. Nous nous concentrerons ici sur le marché européen.

Une connexion Internet analogique traditionnelle ou connexion commutée avec un ISP passe par le PSTN (Public Switched Telephone Network) d'un opérateur téléphonique (Fig. 2). La boucle locale est la partie du réseau qui connecte le modem (CPE, Customer Premises Equipment) de l'utilisateur au central téléphonique du centre local (CO, Central Office) ou distributeur principal. Cette partie est analogique[1] et se compose initialement de deux fils qui permettent la transmission de signaux électriques analogiques. Ensuite on a torsadé les fils de cuivre (twisted pair) pour obtenir par là même de meilleures caractéristiques pour une ligne de transmission.

[1] Ce signal est numérique dans le cas de l'ISDN.

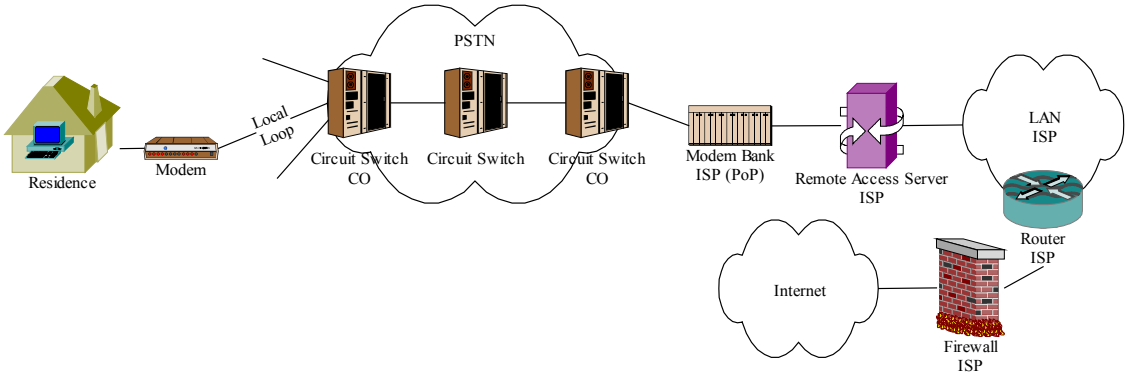

Fig. 2 Connexion Internet analogique traditionnelle.

Une fois arrivé dans le CO le signal analogique est d'office numérisé[2] et transféré par plusieurs commutateurs intermédiaires vers le PoP (Point of Presence) de l'ISP. Ceci est appelé la partie 'transmission' du signal. Dans le cas de ligne ISDN le signal est directement numérisé entre la résidence et le CO. La connexion entre le PSTN et la banque de modems située dans le PoP est elle aussi analogique ou passe par une ligne numérique louée (E1). À ce niveau, on utilise souvent un groupe Hunt qui permet de joindre plusieurs lignes en appelant un seul numéro de téléphone. La connexion passe ensuite par un serveur d'accès (RAS, Remote Access Server) et le réseau local (LAN) de l'ISP et une connexion est établie avec l'Internet par l'intermédiaire d'un routeur et d'un pare-feu. Le RAS assure l'authentification, la configuration de la liaison et du réseau (attribution d'une adresse IP, etc.) et l'encapsulation des paquets en utilisant, par exemple, un PPP (Point-to-Point Protocol). Dans les réseaux d'accès à large bande, on parle également de BRAS (Broadband RAS).

Il n'est pas toujours possible de différencier rigoureusement un ISP d'un ASP (ASP, Access Service Provider ou NSP, Network Service Provider). Quelques considérations permettent cependant d'opérer une distinction : qui possède la boucle locale (local loop), qui possède le réseau de transmission (p. ex. PSTN), qui possède les modems et la connexion au RAS et qui possède le RAS et assure la connexion avec le LAN de l'ISP ? L'ISP assure la connexion avec l'Internet et propose différents services (comme la messagerie électronique).

Dans la connexion commutée classique à basse vitesse, l'ASP possède la boucle locale et le réseau de transmission. La banque de modems, le RAS et le LAN appartiennent à l'ISP. Dans un réseau d'accès à haute vitesse, la boucle locale, la banque de modems, le réseau de transmission et le RAS appartiennent généralement à l'ASP ; l'ISP assure uniquement la connexion avec l'Internet et des services additionnels. Cette distinction peut cependant subir des variations. Diverses combinaisons sont en effet possibles et ce sera surtout le cas une fois que la boucle locale aura été dégroupée.

La définition d'un réseau d'accès diffère selon le point de vue du service provider. Pour un opérateur téléphonique, sans fil, câble ou réseau, le réseau d'accès est la connexion réseau établie entre l'utilisateur (sa résidence, entreprise ou appareil mobile) et le CO de l'opérateur. C'est ce qu'on appelle le «dernier kilomètre». Celui-ci a fait l'objet d'une législation récente qui vise à dégrouper la boucle locale en vue de libéraliser le marché [1]. Pour un Internet service provider (ISP), il s'agit par contre de la connexion réseau entre

[2] La numérisation s'opère à un débit binaire de 64 kb/s, ce qui est suffisant pour la voix et revient à une fréquence d'échantillonnage de 8 kHz avec une précision de 8 bits. Par conséquent, la vitesse maximale des modems analogiques est limitée à (un débit de) largeur de bande de 64 kb/s. Si l'on tient compte de la marge de sécurité, et des bits de contrôles, on obtient donc en général une vitesse de 56 kb/s.

l'utilisateur et le point d'accès (PoP ou Point-of-Presence) ou le LAN de l'ISP. La première définition sera utilisée dans ce qui suit.

Dans un réseau d'accès à haute vitesse (Fig. 3) basé sur les lignes téléphoniques en cuivre, on n'utilise pas le PSTN pour réaliser une connexion avec un ISP. Il est clair que la transmission à 64 kb/s dans le PSTN ne le permet pas. C'est pourquoi le signal téléphonique et le signal de données doivent être séparés dans la boucle locale en utilisant une technique FDMA au niveau de l'utilisateur et dans le CO. Le téléphone analogique est un signal de bande de base qui utilise la bande la plus basse du spectre de fréquences[3] de 0-4 kHz tandis que la DSL (Digital Subscriber Line) utilise le reste du spectre. Par conséquent, il est possible de séparer les signaux au niveau de l'utilisateur et du CO en utilisant de simples filtres. Dans le CO, cette séparation a lieu dans un DSLAM (DSL Access Multiplexer) qui relie le signal téléphonique analogique au commutateur téléphonique et envoie ou reçoit le signal de données, le (dé)module, le (dé)multiplexe, agrège les signaux de données et effectue, par le WAN (Wide Area Network) de l'ASP, la connexion avec le RAS de l'ISP. Le PoP est donc déplacé pour se situer avant le PSTN. Un DSLAM peut être considéré comme le remplaçant de la banque de modems classique.

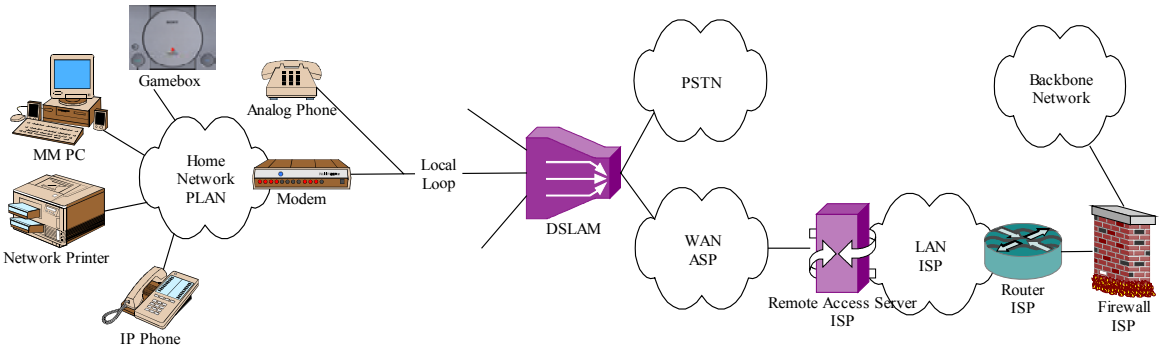

Fig. 3 Réseau d'accès DSL avec le WAN, le LAN ISP et le réseau dorsal

Il est possible de subdiviser une connexion réseau de bout en bout à haute vitesse en sous-réseaux: les réseaux locaux (LAN) chez l'utilisateur, les réseaux d'accès et réseaux métropolitains (WAN ou MAN, Metropolitan Area Network) chez l'ASP, le LAN de l'ISP et le réseau dorsal (Internet). Un utilisateur privé, une personne qui travaille à la maison ou un petit indépendant (médecin, etc.) ne dispose en général que d'un seul PC, mais le nombre de ménages et de petites entreprises possédant plusieurs machines (quelques PC, consoles de jeu et imprimantes) ne cesse d'augmenter. Tous les PC et machines d'un ménage ou d'une petite entreprise peuvent être reliés par un PLAN (Private LAN) ou réseau à domicile qui réalise une connexion avec le réseau d'accès par un port d'accès et un modem. En général, le réseau d'accès appartient à l'opérateur téléphonique historique [1] mais doit, en vertu de la nouvelle législation sur le dégroupage de la boucle local, être ouvert à d'autres ASP. Un WAN est géré par l'ASP et relie entre autres les DSLAM aux serveurs d'accès et à des serveurs spécifiques sur le réseau. Ce réseau est souvent loué à un autre fournisseur de réseau (par exemple la SNCB avec B-Telecom). Le réseau dorsal, qui se compose de routeurs de paquets gibabit et térabit, trouve son origine aux Etats-Unis. Il s'est développé à partir du NSFNET (National Science Foundation Network), un réseau qui reliait quelques grandes universités et des centres de recherche. Actuellement, la définition n'est plus aussi stricte et il s'agit véritablement d'un réseau dorsal (backbone) mondial.

[3] Dans le cas de l'ISDN (Integrated Services Digital Network), c'est plus compliqué car il y a 3 signaux numériques dans la configuration de base : 2 canaux B (Bearer) de 64 kb/s pour le trafic téléphonique et de données et 1 canal D (Delta) de 16 kb/s pour le contrôle des informations. D'autres configurations offrent plusieurs canaux B (on parle alors d'un ISDN à large bande).

Suivant les sources, il existe plusieurs définitions différentes du réseau d'accès à large bande. Dans ce texte, le réseau d'accès à large bande est défini comme un réseau dont la vitesse minimale (bidirectionnelle) en aval est de 1 Mb/s (de manière à comprendre les lignes louées E1); la vitesse en amont n'est pas spécifiée.

Classification	Range of bitrates (R)	Services
Ultra-narrowband	R ≤ 2400 bit/s	text, low speed data, alarms, etc.
Narrowband	2.4 < R ≤ 100 kb/s	speech, data, fax, text, pictures
Medium-band	100 kb/s < R ≤ 1 Mb/s	Internet, data, video, pictures, speech, HiFi-sound
Broadband	1 < R ≤ 10 Mb/s	high quality video, high speed data, etc.
Super-broadband	10 < R ≤ 100 Mb/s	multiple TV-programs, high speed data, etc.
Ultra-broadband	R > 100 Mb/s	professional communication, very high speed data, etc.

Fig. 4 «Sous-définition» des types d'accès [2].

Une autre source avance que des réseaux d'accès à large bande bidirectionnels doivent offrir un trafic de données bidirectionnel et ce, à des vitesses en aval et en amont supérieures à 128 kb/s (ou 200 kb/s). Les réseaux d'accès à large bande unidirectionnels permettent aussi un trafic de données bidirectionnel mais la vitesse en amont est limitée au maximum à 128 kb/s (ou 200 kb/s). D'autres encore «sous-définissent» ces réseaux, comme dans la Fig. 4.

Un réseau d'accès[4] peut être un réseau type bus distribué (câble, fibre optique, mobile) dans lequel plusieurs utilisateurs partagent un réseau d'accès et où une technique de multiplexage est appliquée pour séparer les différents canaux (utilisateurs) (FDMA, CDMA, TDMA). Il peut également s'agir d'un réseau en étoile (paires torsadées en cuivre) dans lequel il existe une liaison directe entre l'utilisateur et le point d'accès. Les réseaux en anneau ou réseaux en maille sont rarement utilisés comme réseaux d'accès.

3. Technologies et Architectures

3.1. Classification des technologies d'accès

Lorsqu'on parle par exemple de l'ADSL (Asymmetric ou ATM DSL), il s'agit en fait d'une série de techniques de couche physique et de protocoles de couche supérieure permettant d'établir une liaison de données sur une paire torsadée en cuivre. Si l'on veut cataloguer les technologies, il est préférable d'utiliser le modèle OSI (Open System Interconnection) (Fig. 5).

[4] Les réseaux d'accès à large bande fixes traditionnels sont basés sur des lignes louées (E1, E3), le Frame Relay ou l'ATM (Cell Relay).

OSI Layers	OSI functionality	TCP/IP functionality	TCP/IP Layers
7: Presentation	End user services such as email.	Authentication, compression, and end user services.	5: Application
6: Application	Data problems and data compression.		
5: Session	Authentication and authorization, session management.		
4: Transport	Guaranteed end-to-end delivery of packets.	Dataflow between systems and access to the network for applications.	4: Transport
3: Network	Packet routing (IP, IPX).	Packet routing.	3: Network
2: Data Link	Transmit and receive packets (Ethernet, ATM).	Kernel OS/device driver interface to network interface on the computer.	2: Link
1: Physical	The cable or physical connection, basic frame definition and MAC.	The cable or physical connection, basic frame definition and MAC.	1: Physical

Fig. 5 Comparaison entre la pile OSI et la pile TCP/IP[5].

Les réseaux utilisent des paquets pour envoyer les données et ce, sur différentes couches du modèle OSI.

Un paquet se compose d'un en-tête et d'un corps. L'en-tête contient les informations nécessaires au traitement correct (routage, qualité du service) du paquet sur une certaine couche, c'est-à-dire l'adresse (MAC, IP), les informations sur la qualité du service, le type de paquet contenu dans le corps, la durée de vie, la détection d'erreurs et leur correction, la numérotation pour la segmentation, les informations sur la session, etc. Le corps peut être un paquet provenant d'une couche supérieure et se compose également d'un en-tête et d'un corps.

Ce qui nous intéresse surtout ici, ce sont les deux couches inférieures, à savoir la couche physique et la couche liaison de données. Nous supposons que le protocole IP a été choisi sur la couche 3 pour le trafic de données et le routage. Deux technologies dominent sur la couche liaison de données (couche 2), à savoir l'ATM (Asynchronous Transfer Mode, monde des télécommunications) et l'Ethernet (monde de la communication de données).

L'ATM transporte des paquets ou cellules d'une longueur fixe de 53 bytes entre des noeuds, ce qui permet d'optimaliser la commutation (cette technologie est traditionnellement appliquée dans une architecture en étoile). Un canal de données de bout en bout, passant par plusieurs commutateurs ATM, est établi au préalable. On obtient ainsi un canal unique entre les points d'arrivée, ce qui constitue une grande analogie avec la téléphonie. Les commutateurs ATM tiennent également compte de différents niveaux de qualité. Toutes ces considérations font de l'ATM un mode extrêmement approprié pour les applications en temps réel, comme la voix ou la vidéo. Toutefois, l'ATM n'est pas répandu dans le monde du LAN car il se prête moins au transport des données et est trop onéreux (bien qu'une interface de 25Mb/s ait déjà été développée pour le LAN qui se retrouve encore sur certains modems ADSL). Les vitesses de transmission dans les réseaux WAN et les réseaux dorsaux vont de 155 Mb/s à plus de 10 Gb/s. À cette fin, les paquets ATM sont emballés dans des paquets SONET (Amérique du Nord) ou SDH (Europe) qui, selon le modèle OSI, sont des technologies de couche 1 et 1½.

[5] La pile TCP/IP est une pile de protocole dérivée de la pile OSI, mais est plus spécifiquement destinée aux applications Internet. En fait, les 3 couches supérieures de la pile OSI (Open System Interconnection) sont regroupées dans une seule couche dans la pile TCP/IP. Il y a également une différence sur la couche transport car, lorsqu'on utilise le protocole UDP, la pile TCP/IP ne garantit pas la livraison des paquets.

Ethernet enjambe les couches 1 et 2. C'est la technologie dominante dans les LAN et elle utilise une architecture type bus. Elle permet d'envoyer des paquets vers d'autres noeuds sur le bus en utilisant une adresse MAC (Media Access Control) (adresse unique mondiale d'une interface Ethernet). Aucune connexion n'est établie entre les nœuds. Le protocole MAC est basé sur la technologie CSMA/CD[6] (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Les paquets Ethernet ont une longueur variable (au maximum 1518 bytes) et sont par conséquent très appropriés au transport de données. Les paquets de couches supérieures sont encapsulés dans un paquet Ethernet. Si un grand nombre de paquets courts doivent être envoyés (comme c'est le cas dans la téléphonie), les performances diminuent considérablement. La qualité n'est pas assurée. Le premier paquet est traité et le reste doit attendre et réessayer. l'Ethernet est une technologie simple, très largement répandue et donc peu coûteuse.

Notons qu'entre la couche 1 et la couche 2 (couche 1½ dans le monde de la communication), il existe d'autres protocoles qui sont susceptibles de jouer un rôle au niveau de la gestion des liaisons, du contrôle et de la correction des erreurs et du contrôle d'accès au média (MAC), etc. Il en va de même pour la couche 2 et la couche 3 (couche 2½), où, par exemple, le MPLS (Multi Protocol Label Switching) fait son entrée et permet de réaliser des connexions de bout en bout avec des garanties de qualité indépendantes du protocole de la couche 2. Nous n'approfondirons pas ces protocoles de couche 1½ et de couche 2½.

Au niveau physique (couche 1), il est possible de distinguer quatre catégories sur la base du moyen de transmission : paires torsadées en cuivre, câble coaxial (+ fibre optique), pure fibre optique ou connexion sans fil. La Fig. 6 fournit une vue d'ensemble des techniques disponibles. Chacune de ces technologies est brièvement commentée. Quelques références utiles sont à chaque fois mentionnées dans le titre. Il s'agit généralement de références aux organes chargés de normaliser la technologie en question.

[6] Une interface Ethernet place uniquement un paquet sur le bus Ethernet si aucune onde porteuse n'est présente, ce qui permet d'éviter des collisions entre paquets. Si une collision devait tout de même survenir, elle sera détectée et un délai d'attente arbitraire sera appliqué avant qu'un autre paquet soit placé sur le bus.

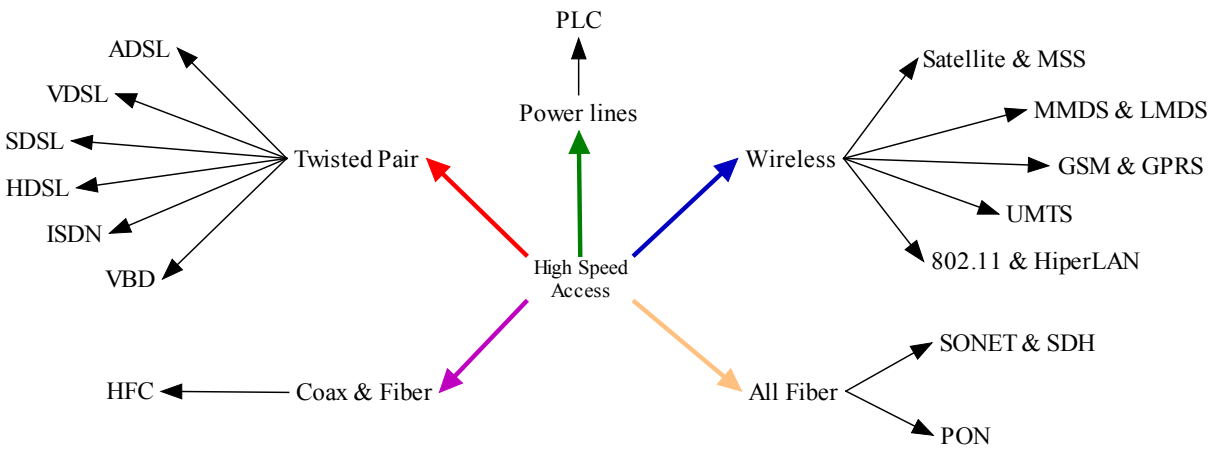

Fig. 6 Technologies d'accès (à bande large) disponibles

3.2. Réseaux d'accès constitués de paires torsadées en cuivre [4], [5], [6]

Les premiers modems utilisaient la connexion téléphonique pour appeler le PoP d'un ISP par le biais des lignes d'accès torsadées en cuivre et du réseau téléphonique. Vu les limitations du PSTN, il fallait travailler dans les limites de la largeur de bande de 64 kb/s, c'est-à-dire la bande vocale (VBD ou Voice Band Data). Les techniques de modulation étaient FSK ou QAM ; les vitesses symétriques variaient de 14.4 kb/s à 36.6 kb/s en passant par 28.8 kb/s. Les derniers modems VBD utilisent des vitesses asymétriques de 56 kb/s en aval et de 36.6 kb/s en amont. En général, la compression des données est également disponible pour augmenter l'efficacité de la liaison. Le PPP est un protocole de configuration et d'encapsulation fréquemment utilisé.

Pour obtenir des largeurs de bande plus élevées en utilisant les lignes téléphoniques en cuivre existantes, il faut renoncer à transporter les données par le biais du PSTN et isoler le signal de données avant le PSTN. Toutefois, la transmission par des lignes d'accès en cuivre est difficile. Bon nombre de lignes sont de mauvaise qualité (par exemple, le degré de torsion des fils peut sensiblement varier et parfois, les fils ne sont pas du tout torsadés). Différentes lignes sont chargées de bobines et une ligne peut présenter différentes dérivations en vue d'un usage ultérieur (par exemple, une ligne est dérivée et amenée vers différentes maisons pour disposer d'une distribution suffisante de lignes). Par kilomètre, un moyen de transmission en cuivre perd en moyenne 90 % de sa puissance. Il faut donc lancer suffisamment de puissance sur la ligne afin de pouvoir couvrir une distance considérable. Cela augmente le risque de diaphonie entre des lignes adjacentes, ce qui a une influence très négative sur la qualité finale. Par conséquent, bon nombre de techniques de modulation, d'algorithmes de compression et de correction d'erreurs et de techniques d'adaptation de ligne ont été développés afin de tenter de remédier à tous ces problèmes.

Les normes xDSL qui en découlent (x représente chacune des lettres A, H, R, S ou V) peuvent être subdivisées en fonction de la technique de modulation utilisée. Pour n'en citer qu'une, la Discrete Multi-Tone (DMT) répartit le spectre disponible (Fig. 7) en bandes de 4 kHz auxquelles une modulation QAM appropriée est ensuite appliquée. Plus la qualité de cette bande est élevée, plus l'ordre QAM peut être élevé (et plus le nombre de bits pouvant être modulés sur cette bande est élevé). Certaines de ces bandes peuvent être utilisées pour le trafic de données en amont, d'autres sont utilisées pour le trafic de données en aval. Une autre technique fait appel à la modulation d'amplitude et de phase sans porteuse (CAP ou Carrierless Amplitude and Phase).

Il existe deux normes ADSL : l'ADSL-1 dont la vitesse en aval est de 1.5 ou 2.0 Mb/s et la vitesse en amont de 16 à 64 kb/s. L'ADSL-3 spécifie une vitesse en aval de 6.144 Mb/s et un canal bidirectionnel de 640 kb/s. L'ADSL-1 supporte des distances allant jusqu'à 6 km, l'ADSL-3 jusqu'à 4 km. La compatibilité entre les différentes technologies ADSL et entre des produits de différents producteurs pose un grand problème. La VDSL (Very high bitrate DSL) promet des vitesses de transfert de données encore plus grandes au détriment de la distance pouvant être couverte. La RADSL (Rate Adaptive DSL) adapte le débit à la qualité de la ligne d'accès. La HDSL (High data rate DSL) présente un débit bidirectionnel de 1.5 Mb/s ou 2.0 Mb/s et utilise 2 paires torsadées pour un débit de 1.5 Mb/s et 3 paires pour un débit de 2.0 Mb/s. La SDSL (Symmetric DSL) se contente d'une seule paire torsadée pour obtenir des vitesses de n*64 kb/s à 2.0 Mb/s. La SDSL et la HDSL sont des alternatives bon marché à une ligne E1 louée, mais elles disparaîtront probablement avec la montée de la VDSL.

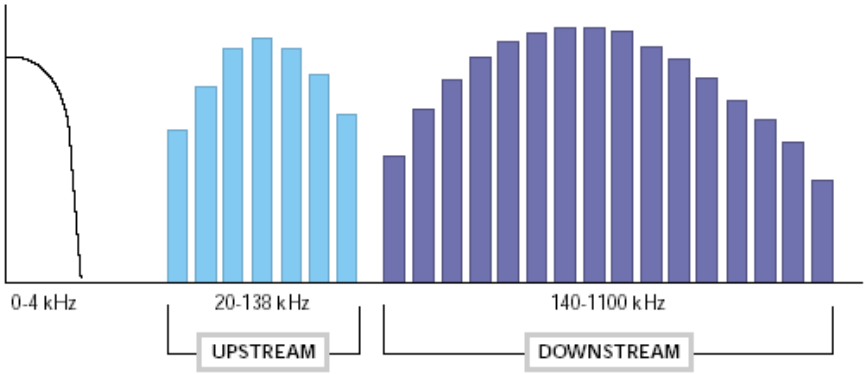

Fig. 7 Spectre de fréquences de l'ADSL [2].

Comme déjà évoqué, il faut prévoir un DSLAM dans le CO pour isoler la paire torsadée. Il s'agit bel et bien ici d'une connexion point à point entre l'utilisateur et le DSLAM. Le trafic de données est multiplexé sur une connexion SDH ou SONET (WAN) et envoyé vers un RAS. Le trafic téléphonique est dévié vers le PSTN.

Aujourd'hui, on souhaite intégrer le trafic téléphonique au trafic de données (Voice over ADSL) ou éventuellement prévoir quelques fréquences DMT pour envoyer la voix (VoiceDSL). Cela aurait comme avantage que la DSL pourrait utiliser l'intégralité du spectre de fréquences. Par ailleurs, l'utilisation d'Ethernet en tant que technologie de couche 2 est fortement promue au sein de l'IEEE et du groupe de travail EFM (Ethernet in the First Mile) et les premiers modems EDSL (Ethernet DSL) sont déjà testés. Le DSLAM est également en train d'être adapté pour Ethernet, ce qui indique l'importance qu'Ethernet acquiert dans les réseaux d'accès et réseaux WAN.

3.3. Réseau d'accès par câble coaxial avec distribution par fibre optique [7], [8]

La télédistribution utilise un réseau de distribution basé sur des câbles coaxiaux en cuivre. C'est une technologie très répandue en Belgique (pénétration supérieure à 90 %). Il s'agit d'une architecture type bus unidirectionnelle (aval). Malgré les meilleures caractéristiques de transmission (fréquences plus élevées) du câble coaxial en comparaison avec les paires torsadées en cuivre, un bon 90 % de la puissance est perdue avec le câble coaxial par kilomètre et le câble coaxial exige donc l'installation régulière d'amplificateurs pour augmenter la portée.

En général, on utilise une fibre optique pour la distribution vers des points d'alimentation à grande distance (la fibre optique perd environ 10 % de sa puissance par kilomètre) et un câble coaxial pour la distribution locale à partir du point d'alimentation. On parle ici d'architecture HFC (Hybrid Fiber Coax). Pour réaliser un trafic bidirectionnel, tous les amplificateurs doivent donc être rendus bidirectionnels et les points d'alimentation doivent être adaptés à un trafic de données bidirectionnel.

Un canal de télévision analogique occupe une largeur de bande de 6 MHz et les bandes de fréquence admises se situent dans les 50 à 550 ou 750 MHz (bandes VHF et UHF). Pour le trafic de données en aval, quelques-uns de ces canaux de 6 MHz sont utilisés (moyennant une modulation adaptée, il est possible d'obtenir des débits allant jusqu'à 30 Mb/s) et doivent être partagés par tous les utilisateurs situés sur cette partie du câble coaxial. Pour le trafic de données en amont, on peut soit utiliser un simple modem VBD, soit le câble coaxial, à savoir la bande des 5 MHZ – 65 MHz. Celle-ci est à nouveau partagée par tous les utilisateurs situés sur cette partie du câble coaxial. Un mécanisme MAC est prévu afin de s'assurer que chaque utilisateur reçoit une partie équivalente de cette largeur de bande. Le

mécanisme MAC doit garantir une qualité de service (QoS). En réalité, la qualité régresse si trop d'utilisateurs ou d'utilisateurs expérimentés sont présents sur un certain segment. Le protocole de couche 1 dominant dans les réseaux d'accès par câble coaxial est DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification).

Le système HFC présente le grand avantage de pouvoir offrir actuellement tous les services au moyen d'un seul câble : vidéo, données et voix (téléphonie).

3.4. Réseaux d'accès entièrement basés sur la fibre optique [9], [10]

Depuis quelques années, différents producteurs de télécommunications et quelques start-up tentent de développer des solutions entièrement basées sur la fibre optique pour les réseaux d'accès à large bande, cependant avec un succès mitigé en raison des grands investissements que ces solutions nécessitent au niveau de l'infrastructure.

FTTx (Fiber-to-the-Home/Business/Curb/Cabinet) utilise un réseau de fibre optique distribué comme le câble coaxial (Fig. 8). Plusieurs utilisateurs sont reliés avec un ONT ou une ONU (Optical Network Terminal/Unit) par 'la même' fibre optique fendue à une terminaison de ligne (OLT, Optical Line Termination). Comme il s'agit ici d'un réseau passif (il n'y a pas de composants actifs comme des répéteurs ou des amplificateurs dans le réseau d'accès), ce type de réseau d'accès est également appelé PON (Passive Optical Network). La séparation entre les signaux en aval et en amont est effectuée à l'aide d'une technique WDM (Wave Division Multiplexing), ce qui revient à choisir une autre couleur pour chaque signal, par analogie avec le FDMA. Selon les normes, un maximum de 32 ou 64 utilisateurs peuvent être raccordés à une fibre optique. Étant donné que la fibre optique perd seulement 10% de sa puissance par kilomètre, il est possible de couvrir de plus grandes distances (jusqu'à 20 km) et les débits d'une fibre partagée vont de 155 Mb/s ou 622 Mb/s à 1.2 Gb/s en aval et de 155 Mb/s à 1.2 Gb/s en amont. Cela signifie que pour une fibre optique partagée par 32 utilisateurs, au moins 10 à 20 Mb/s sont disponibles en aval et 10 Mb/s en amont. Une troisième couleur peut également être utilisée pour envoyer de la vidéo sur la fibre optique. La couche 2 utilise l'ATM comme protocole de transport (APON, ATM PON). Depuis peu, on travaille à également à la conception d'un réseau EPON (Ethernet PON) avec Ethernet comme technologie de couche 2. Les solutions FTTx s'adressent aux petites et moyennes entreprises (FTTB), aux utilisateurs privés (FTTH) ou servent de réseau de distribution pour xDSL (FTTC, FTTCab), dans lequel on passe, à partir de l'ONU, aux lignes téléphoniques en cuivre.

En soi, la fibre optique est meilleur marché que le cuivre mais les frais de placement sont plus élevés. C'est surtout le placement de connecteurs et les fendillements de fibre optique qui sont chers car ces opérations demandent un personnel spécialement formé. En Belgique, il faut également ouvrir la rue depuis le CO jusqu'à l'utilisateur puisqu'il n'existe encore aucune infrastructure PON. En outre, les composants optiques des OLT et ONT sont encore très coûteux, mais la situation pourrait s'améliorer une fois que la demande augmentera. D'autre part, le réseau d'accès ne demande pas ou peu de maintenance puisqu'il ne comporte aucun composant actif (contrairement au câble coaxial).

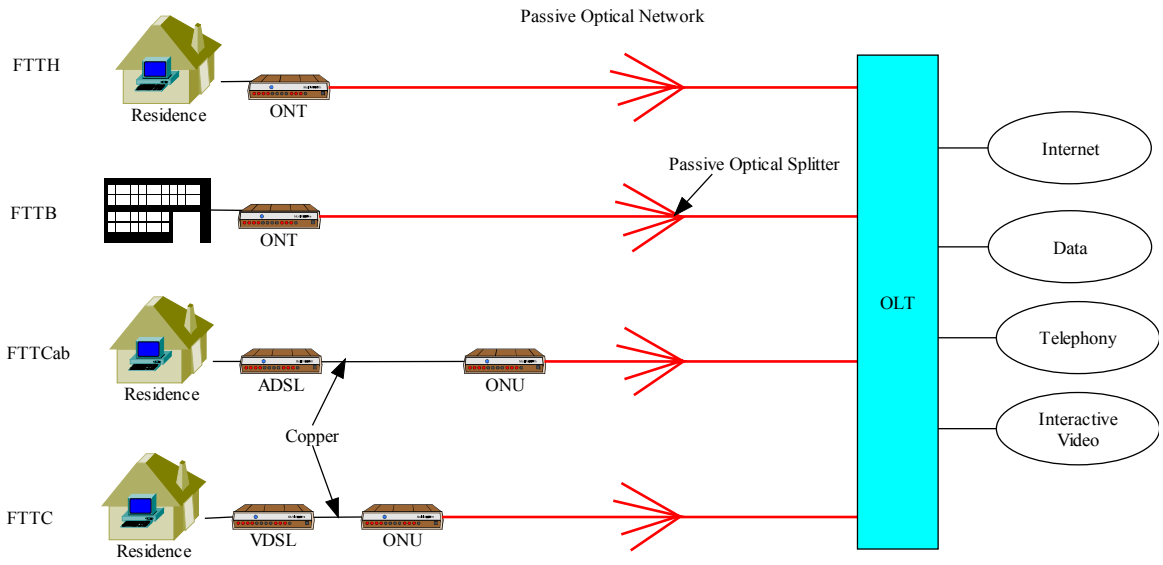

Fig. 8 Architectures APON.

La grande force du FTTX réside dans le fait qu'il permet de proposer les trois services principaux (vidéo analogique et numérique, données et voix) sur une seule ligne et à une très haute qualité. En outre, le réseau d'accès est paré pour l'avenir et il est possible d'offrir des connexions point à point sur le réseau distribué en multiplexant ce signal de données sur une couleur distincte. Ce sont principalement les nouvelles constructions et appartements qui constituent les segments de marché visés par cette technologie.

Gigabit Ethernet est un concurrent bon marché à FTTx. Initialement conçu pour un réseau dorsal LAN, il peut également être utilisé comme réseau d'accès jusqu'à un immeuble à appartements, par exemple, pour être ensuite réparti (routeur, commutateur) entre les différents appartements à l'aide d'un câble UTP (Unshielded Twisted Pair). UTP est pris en charge par Ethernet Gigabit (1000 Mb/s) ou Fast Ethernet (100 Mb/s). Il est également possible de prévoir des connexions de type SONET ou SDH directe, une connexion qui est généralement utilisée dans les campus universitaires ou les grandes entreprises.

3.5. Réseaux d'accès sans fil

Les réseaux d'accès sans fil frappent fort l'imagination car ils promettent la mobilité, une installation minimale et de hautes largeurs de bande. Il convient de faire une distinction entre les connexions sans fil mobiles et les connexions sans fil fixes. Les connexions sans fil mobiles permettent à l'utilisateur de se déplacer à grande vitesse (pour un GSM, au maximum 120 km/h) et permettent le transfert automatique (handover) entre cellules (passer d'une cellule à l'autre) et le roaming (passer d'un opérateur à l'autre). En revanche, les connexions sans fil fixes ne permettent pas à l'utilisateur de se déplacer rapidement ni de se mettre hors de portée de la station de base. La mobilité IP permet à un utilisateur d'une connexion mobile de toujours être joignable par un réseau IP et supporte aussi le transfert automatique et le roaming au niveau IP.

3.5.1. Réseaux d'accès sans fil mobiles [11], [12]

La première génération des connexions sans fil mobiles utilisait des techniques analogiques et une structure unicellulaire. Les deuxième et troisième générations sont basées sur des techniques numériques et une architecture cellulaire complète.

À l'origine, le GSM (Global System for Mobile communications), ou deuxième génération des communications mobiles, était uniquement conçu pour la téléphonie mobile. Il utilise un système à commutation de circuits par analogie avec la téléphonie traditionnelle (en d'autres termes, lors de la réalisation d'une conversation téléphonique, un canal de bout en bout ou circuit, passant par plusieurs commutateurs de circuit, est réservé pour cette conversation). Pour le transport du signal (il s'agit bel et bien ici d'un signal numérique), le GSM utilise une combinaison de techniques de type TDMA et de FDMA qui permettent autour de 900 MHZ, 1800 MHz ou 1900 MHz. 8 canaux sont prévus sur chaque fréquence (aux Etats-Unis, la situation est plus compliquée en raison d'un mélange de systèmes analogiques et numériques et d'un manque de normalisation). Les canaux aval et amont sont séparés. Les principaux éléments de l'infrastructure sont le BSS (Base Station Subsystem avec antennes, émetteurs-récepteurs et un BSC, Base Station Controller), le HLR et le VLR (Home et Visitor Location Register) qui assurent la mobilité et le MSC (Mobile Service Switching Center) qui réalise la connexion à commutation de circuits avec le PSTN ou un autre MSC (par exemple, d'un autre opérateur).

Le GSM a été équipé du WAP (Wireless Application Protocol, [13]) afin – par analogie avec le HTTP – de donner accès à des serveurs Internet dotés d'une interface WAP. Étant donné que le canal téléphonique était utilisé pour le transport de données, la largeur de bande était limitée à 9.6 kb/s. Le nombre de serveurs Internet dotés d'une interface WAP et d'un système de navigation adapté était en outre très limité, ce qui a conduit à l'échec de cette technologie. En raison de l'architecture à commutation de circuits, le canal est réservé pour toute la durée de la connexion, même si aucune donnée n'est envoyée. Ce système n'utilise donc pas la largeur de bande de manière optimale. En combinant différents canaux GSM, il est possible d'obtenir des débits allant jusqu'à 64 kb/s (HSCSD, High Speed Circuit Switched Data). Quant à l'I-Mode, il s'agit d'une technologie japonaise comparable au WAP mais elle est beaucoup mieux soutenue par des services et par une plus grande disponibilité de terminaux puissants.

Le GPRS (General Packet Radio Service) est la première grande étape du développement de la troisième génération des systèmes mobiles et acquis le statut de norme mondiale. Ce système est basé sur une architecture de commutation de paquets et utilise le réseau d'accès GSM. La commutation de paquets signifie que la largeur de bande disponible est partagée par différents utilisateurs. Les paquets sont transférés sur le réseau d'accès GSM vers un réseau (le WAN de l'ASP ou de l'ISP) de paquets (IP ou X.25). Vu son architecture par paquets, le GPRS est donc un support approprié pour la pile TCP/IP. Avec le GPRS, on peut toujours rester connecté (always on-line) : on paie uniquement les données que l'on envoie ou un schéma de paiement forfaitaire est prévu. Le débit varie en théorie de 14.4 kb/s à 115 kb/s mais en réalité, on obtiendra entre 28 kb/s et 56 kb/s, soit une vitesse suffisante pour les applications les plus courantes, comme l'e-mail.

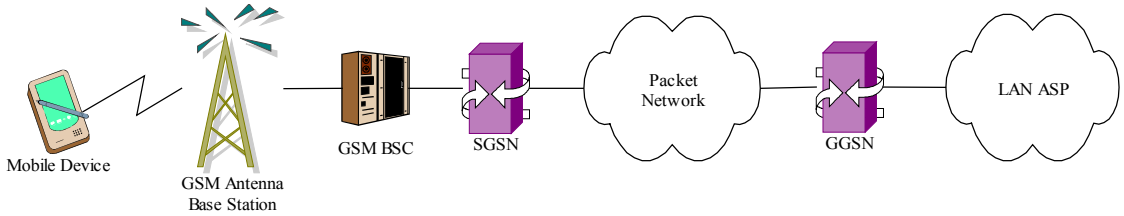

Fig. 9 Réseau d'accès GPRS.

L'architecture d'accès utilise le GSM BSS, un SGSN (Serving GPRS Support Node) et un GGSN (Gateway GPRS Support Node) par analogie avec le DSLAM et le RAS (Fig. 9). EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution) va encore plus loin et supporte des débits allant jusqu'à 384 kb/s en combinant différents canaux de 48 kb/s. À l'intérieur, ce débit redescendrait à 115 kb/s en raison de pertes de puissance plus élevées. Les techniques de modulation utilisées pour ces systèmes sont entre autres un PSK d'ordre supérieur (Phase Shift Keying).

L'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), la troisième génération de réseaux d'accès mobiles, combine les données et la téléphonie et est une synergie de toutes les autres technologies mobiles (GSM, paging, téléphone sans fil, systèmes satellites mobiles, etc.). Ces systèmes sont basés sur des techniques de modulation à large bande CDMA (W-CDMA) autour des 2 GHz.

Les systèmes terrestres demandent une toute nouvelle infrastructure (UTRAN, UMTS Terrestrial Radio Access Network) des stations de bases et des contrôleurs (RNC, Radio Network Controller, remplaçant de BSC) pour assurer la connexion avec un réseau de commutation de paquets ou de circuits. Dans une première phase, les éléments MSC, VLR et HLR, SGSN et GGSN seront réutilisés. En cas d'immobilité, des débits de 2 Mb/s peuvent être obtenus en théorie. Si l'utilisateur est en mouvement, cette vitesse redescendra vite et sera de l'ordre de celle d'un système GPRS.

L'UMTS est un système complexe, tant au niveau des piles de protocole utilisées qu'au niveau de l'architecture du réseau. Pour les signaux de contrôle UMTS, l'ATM est utilisé comme protocole de couche 2, les données peuvent également être transportées sur IPv4 ou IPv6. L'UMTS prend également en charge des réseaux d'accès satellite et l'un de ses grands avantages est qu'il permet un passage sans heurts entre tous ces différents réseaux d'accès sans fil. On peut ainsi par exemple passer d'un système satellite à un réseau d'accès GPRS terrestre et une fois à la maison ou de retour dans l'entreprise, on peut utiliser le réseau sans fil local sans devoir établir une nouvelle connexion (Fig. 10). À chaque fois, l'UMTS choisit par exemple le réseau présentant la capacité maximale.

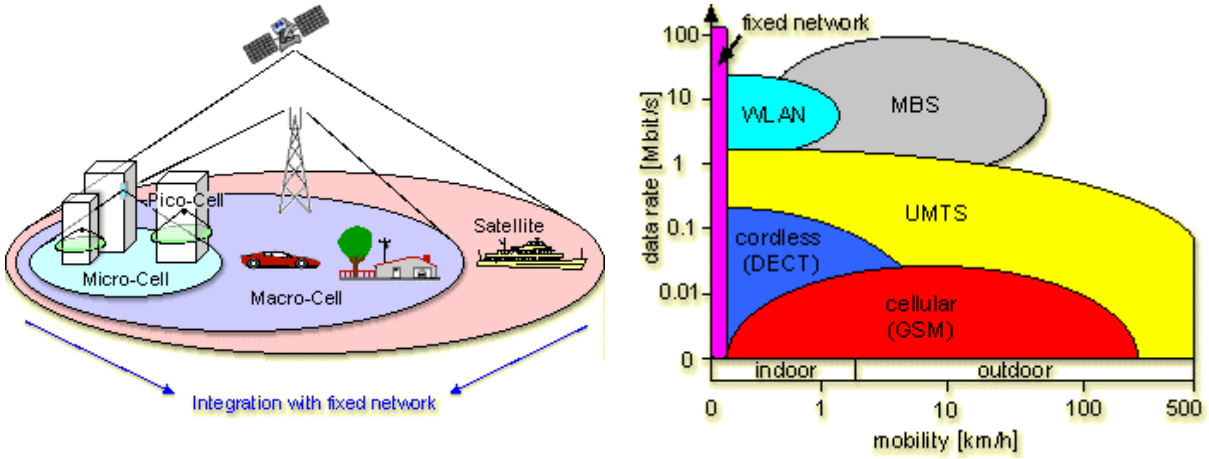

Fig. 10 Structure cellulaire hiérarchisée de l'UMTS et Mobilité en comparaison avec le débit pouvant être obtenu sur les différents systèmes [14].

Les réseaux d'accès satellite (MSS, Mobile Satellite Systems) utilisent des satellites GEO (Geostationary Earth Orbit, orbite circulaire située à 36.000 km au-dessus de la surface de la terre), MEO (Medium Earth Orbit, orbite circulaire située à 10.000 km au-dessus de la terre), ou LEO (Low Earth Orbit, orbite circulaire ou elliptique située à 700 à 1000 au-dessus de la surface de la terre). Les satellites GEO restent suspendus à un certain point au-dessus de la terre et, pour cela, ils doivent être positionnés dans une orbite circulaire sur le plan de l'équateur. Compte tenu de cette grande distance, les délais de retard sont inacceptables pour la téléphonie et ce système convient donc uniquement pour des données ou de la vidéo non sensibles au temps. Vu la courte distance qui sépare les satellites LEO de la terre, les délais de retard sont limités et cette architecture peut servir à la téléphonie. Cependant, ces satellites se déplacent très vite par rapport à la terre (ils en font le tour en 2 heures) et il faut donc réaliser un transfert automatique entre différents satellites (comme un utilisateur de GSM mobile qui se déplace d'une cellule à l'autre). Le système IRIDIUM figure au nombre des systèmes LEO connus. Il est constitué d'une constellation de 66 satellites et garantit ainsi une portée planétaire. Le réseau dorsal qui relie les satellites entre eux peut se situer sur la terre ou la transmission de données peut s'opérer directement entre les satellites sans l'intervention d'un réseau terrestre. Dans le premier cas, les données de l'appareil mobile sont envoyées par le satellite à une station terrestre, transportées par un réseau de transport terrestre pour être ensuite renvoyées vers le satellite qui transfère à son tour les données vers l'appareil récepteur. Les vitesses varient selon que l'on utilise des canaux à bas débit dédiés ou que l'on passe à des canaux partagés de différents Mb/s.

3.5.2. Réseaux d'accès sans fil fixes [15], [16], [17]

Il va de soi que les systèmes satellite peuvent également être utilisés pour un accès sans fil fixe. Deux technologies terrestres, qui trouvent leur origine dans le système de télédistribution, sont le LMDS (Local Multipoint Distribution Service) et le MMDS (Multitichannel Multipoint Distribution System). Le MMDS supporte des distances allant jusqu'à 50 km et utilise 33 canaux autour des 2 GHz pour les transferts sur la voie descendante. La voie montante utilise une connexion modem PSTN classique. Des vitesses en aval de 10 Mb/s sont possibles et devraient être portées à 27 Mb/s. Le LMDS utilise une radiocommunication autour d'une onde porteuse de 28 GHz pour la voie descendante et le PSTN classique pour la voie montante. La portée est d'environ 5 km et les vitesses sont environ quatre fois supérieures à celles du MMDS.

Ces dernières années, quelques nouvelles technologies sans fil fixes ont été introduites sous l'appellation WLAN (Wireless LAN). Elles ont été normalisées par l'IEEE et sont généralement connues sous les normes 802.11. La couche 2 est basée sur l'Ethernet et le CSMA/CA est donc utilisé pour le contrôle d'accès. La sécurité joue également un rôle important dans les réseaux sans fil. Comme il s'agit de rayons omnidirectionnels, tout le monde peut placer une antenne pour capter le signal. Le WEP (Wired Equivalent Privacy) est un mécanisme de sécurité qui assure tant le contrôle de l'accès au réseau que l'encryptage des données envoyées (sur la base de certificats). Toutefois, ce protocole présente encore de nombreux défauts (certificat statique distribué manuellement, aucune protection contre le 'replay'). C'est pourquoi on élabore actuellement un nouveau protocole de protection, le WPA (Wireless Protected Access) qui devrait remédier aux défauts du WEP. Les Hotspots sont un service récent qui proposent, contre paiement, une connexion WLAN avec l'Internet à des endroits bien spécifiques, comme des aéroports et des stations d'essence.

Le système IEEE 802.11a utilise l'OFDMA (Orthogonal FDMA), une technique de modulation avancée qui minimalise l'ISI (Inter Symbol Interference). L'opération s'effectue par une douzaine de canaux autour des 5 GHz, ce qui autorise en théorie des débits binaires de 54 Mb/s. La WiFi (Wireless Fidelity) ou IEEE 802.11b est la technologie la plus populaire et fait appel aux techniques de modulation étalement du spectre et CCK (Complementary Code Keying). Elle utilise la bande libre de 2.4 GHz (fréquence des fours à micro-ondes) et supporte des débits de 11 Mb/s, avec possibilité, en cas de mauvaise qualité du canal, de redescendre à 5.5, 2 ou 1 Mb/s. Il y a également le système IEEE 802.11g qui, grâce à des techniques de codage avancées, peut atteindre des débits plus élevés sur des distances relativement courtes, tant dans la bande 2.4 GHz que dans la bande 5 GHz.

L'HiperLAN est un système européen comparable à l'IEEE 802.11a. L'HiperLAN/1 supporte des débits de 20 Mb/s dans la bande des 5GHz. Quant à l'HiperLAN/2, il supporte des débits de 54 Mb/s dans la même bande de 5 GHz et est compatible avec l'UMTS, la troisième génération des réseaux sans fil.

Hormis les réseaux d'accès satellite, toutes les technologies énumérées sont NLOS (Near Line Of Sight), ce qui permet, dans une mesure limitée, d'éviter les obstacles sur le trajet entre l'émetteur et le récepteur (bâtiments, arbres, etc.). Les connexions (transmissions) point à point à grande vitesse et les réseaux d'accès satellite sont en général des technologies LOS en raison de leurs puissances limitées ou de leurs débits élevés.

Le WLAN est une technologie idéale pour les entreprises et les universités qui souhaitent déployer très rapidement un réseau d'accès avec un minimum d'investissements.

3.6. Réseau électrique [18], [19]

Le réseau électrique peut également être utilisé pour offrir un accès à large bande (PLC ou Power Line Communication). L'architecture est analogue à l'architecture HFC. Même le réseau électrique résidentiel peut être utilisé pour réaliser la distribution à domicile. Le réseau électrique est un support imprévisible et sensible aux grésillements (rayonnements, pointes lorsqu'on allume ou éteint des machines et appareils, impédance variable des lignes). Cependant, de nouvelles techniques de modulation avancées (OFDM), des systèmes de détection et de correction d'erreurs et des techniques adaptatives ont permis de concevoir une première norme (HomePlug 1.0) autorisant des débits de 10 Mb/s pour les PLAN. On cherche également à savoir s'il est possible d'utiliser cette technologie dans la boucle locale (à partir du transformateur). Une nouvelle norme autorisant des vitesses de 100 Mb/s (HomePlug AV) est en train d'être développée par la Homeplug Powerline Alliance. Bien que le déploiement de la PLC dans les PLAN soit encore timide, elle est considérée comme la grande concurrente de l'Ethernet et de la WiFi en raison des faibles investissements qu'elle nécessite au niveau du câblage du réseau et de sa convivialité pour l'utilisateur.

4. Le Marché et les services de télécommunications

4.1. Vue d'ensemble

L'accès Internet à haute vitesse, la vidéo et la voix sont les trois services sur lesquels bon nombre d'ASP concentrent actuellement leur énergie. Ce n'est pas étonnant quand on sait que cela leur permettrait de doubler leurs revenus.

Ces dernières années, les services traditionnels proposés par un ASP ou NSP ont été soumis à de très nombreux changements, surtout pour les opérateurs (de téléphonie fixe) (ILEC, Incumbent Local Exchange Carrier). Le réseau à commutation de circuits fixe pour la transmission de la voix en temps réel basé sur le TDM et l'ATM et assurant une QoS élevée a évolué pour donner des systèmes de transmission devant supporter aussi bien (a) des pointes de trafic de données qui ne nécessitent pas de travailler en temps réel que la voix (pour la téléphonie) qui exige un service à QoS élevée, offrir une connexion garantie et de faibles délais de retard.

Afin de rester compétitifs, les ILEC s'intéressent également à la (télé)distribution de vidéo numérique, un trafic de données présentant traditionnellement des pointes, de hauts débits continus et la nécessité de délais de retards limités. Au départ, le trafic de données pouvait être guidé à travers le réseau à commutation de circuits, mais les réseaux d'accès à haute vitesse qui utilisent les paires torsadées en cuivre des fils téléphoniques exigeaient un nouvel investissement dans le CO (DSLAM) et le WAN (transport des données).

Les opérateurs du câble ont transformé leur réseau de télédistribution unidirectionnelle afin de pouvoir prendre en charge un trafic bidirectionnel de données et téléphonique. Le bien-fondé du choix des opérateurs du câble de proposer également des services de téléphonie fixe fait l'objet d'un vaste débat. Les premiers investissements à réaliser dans un réseau à commutation de circuits sont importants et le marché de la téléphonie fixe est en train de reculer face à la téléphonie mobile. En outre, les marges bénéficiaires sont étroites et les services générant des nouveaux revenus sont peu nombreux[7].

Les CLEC (Competitive Local Exchange Carrier) sont des nouveaux venus sur le marché. Ils profitent de la dérégulation du marché des télécommunications et des appels de la Communauté européenne visant à mettre l'accès à large bande à la disposition de tout un chacun. Cependant, pour conquérir des parts de marché dans un marché où les marges bénéficiaires régressent, il est important de pouvoir proposer de nouveaux services combinés à valeur ajoutée. C'est pourquoi les services triples sont essentiels pour les CLEC. En outre, ils veulent limiter les investissements nécessaires au minimum et sont acquis à de nouvelles technologies d'accès et à des solutions MAN et WAN moins chères basées sur Ethernet WAN qui permettent une agrégation des services dans une seule technologie d'accès intégrée.

[7] La dernière grande innovation qu'a connue la téléphonie fixe est l'IN (Intelligent Networks), une technologie qui intervient dans le traitement des appels et permet des services comme le 'call forwarding' et l''interactive voice response'.

4.2. Services et Segmentation du marché

Afin d'obtenir un meilleur aperçu du marché, il est utile d'identifier les différentes sortes d'utilisateurs et les services que ceux-ci attendent.

Les utilisateurs résidentiels et les utilisateurs professionnels constituent les deux grandes catégories d'utilisateurs. Les services qu'ils attendent (Fig. 11) peuvent être répartis en services traditionnels et nouveaux services (première, deuxième et troisième ligne). Il existe des nouveaux services tant dans le domaine des données, de la voix que de la vidéo. Ces nouveaux services devraient permettre au fournisseur de services de doubler leurs revenus.

	Utilisateur résidentiel	**Utilisateur professionnel**
services traditionnels	Accès à Internet, e-mail, téléphone	accès à Internet, e-mail, téléphone, communication, ligne louée
nouveaux services de première ligne	Services de rapatriement, archivage en ligne, téléchargement de fichiers, protection des données, apprentissage électronique, banque et achats électroniques, automatisation et contrôle du domicile (domotique)	hébergement de base (web), services de rapatriement, téléchargement de fichiers, fourniture d'informations, largeur de bande garantie, largeur de bande sur demande, SLA
nouveaux services de deuxième ligne	Services vidéo, détente, jeux interactifs en ligne, téléchargement de MP3, communication peer-to-peer, vidéophonie, VoIP, SMS vers des réseaux fixes, messages MM, services d'hébergement de base	apprentissage électronique, vidéophonie et vidéoconférence, télégestion et télémaintenance, télétravail, VoDSL, VoIP, SW pour la protection des données, nombre de lignes téléphoniques adaptable, Extranet, SAN
nouveaux services de troisième ligne	Surf synchrone pour des consultations virtuelles, création de pages d'accueil, services d'impression en ligne	hébergement d'applications, hébergement de pages d'accueil et de sites, stockage, LAN sans fil, VPN, protection des données par le fournisseur de services

Fig. 11 Services de télécommunication traditionnels et nouveaux services.

La sécurité implique la détection d'intrus sur le réseau ainsi que le filtrage des URL et du web. Des services vidéo comme la télédistribution ou différentes sortes de VoD (quasi VoD, pay per view) sont gourmands en largeur de bande. Les systèmes de vidéo numérique utilisent des technologies de compression, comme le MPEG. Les signaux vidéo codés MPEG2 demandent des débits binaires allant de 3 à 15 Mb/s. Le MPEG4 peut couvrir un plus vaste éventail de débits binaires mais la qualité varie proportionnellement. La HDTV (High Definition Television) demandant au moins 18 Mb/s, seules les technologies d'accès VDSL ou FTTx sont appropriées. Les messages MM contiennent des photos et des clips vidéo personnels.

La catégorie des utilisateurs résidentiels peut être subdivisée en 3 sous-catégories :

- L'omnivore: cet utilisateur exploite tous les services, il représente le plus petit segment. Les revenus générés par cet utilisateur sont inférieurs à ceux générés par le 'chercheur de communications' et il utilise encore souvent les techniques d'accès analogiques traditionnelles.
- Le chercheur de communications (fans de messageries discussions) : ces jeunes utilisateurs (principalement des écoliers et des étudiants) représentent la plus grande source de revenus. Ils font partie de la classe des plus bas revenus et sont séduits par le GSM, les SMS, le chat et les solutions à large bande, comme l'ADSL et le câble. Ils consomment surtout des services traditionnels et des services de première et deuxième ligne. C'est le segment le plus ouvert à un système de paiement sur la base des services fournis.

- Le chercheur d'informations : il s'agit d'utilisateurs plus pondérés et plus âgés, disposant de plus hauts revenus mais qui représentent la plus petite source de revenus pour l'ASP. Ils se contentent des services traditionnels et de première ligne et utilisent tout le spectre des techniques d'accès. Ils sont davantage intéressés par un schéma de paiement forfaitaire.

La catégorie des utilisateurs professionnels peut être subdivisée en 3 sous-catégories :

- les moyennes entreprises (50-99 travailleurs) : c'est le plus petit segment au niveau des utilisateurs. Il s'agit principalement de petites banques et compagnies d'assurances comptant un grand nombre de télétravailleurs. Elles utilisent tous les services disponibles et sont très désireuses de passer à des réseaux d'accès à large bande.
- les grandes entreprises (100-499) : elles représentent le plus grand segment du marché. Elles ont généralement des succursales locales, se composent surtout d'utilisateurs LAN et utilisent régulièrement l'Internet. Elles consomment dans une grande mesure des services traditionnels et de première et deuxième ligne.
- Petites entreprises ou indépendants : c'est le plus grand segment (médecins, pharmaciens, commerçants, petites entreprises). Ils sont le moins disposés à passer à la large bande, ce sont les plus petits utilisateurs de l'Internet et ils comptent le moins de télétravailleurs. Ils utilisent surtout les services traditionnels et de première ligne.

Dans le développement et le déploiement des nouveaux services, les services de première ligne ont un caractère primordial. De très nombreux services de deuxième et troisième ligne sont déjà accessibles aux utilisateurs professionnels. Certains de ces services deviennent disponibles pour les utilisateurs résidentiels et font l'objet d'une grande promotion, compte tenu des gros revenus qu'ils sont supposés générer (par exemple, les MMS pour le chercheur de communications).

On ignore encore quels acteurs du marché parviendront finalement à se positionner. L'ASP et l'ISP jouissent pour l'instant de la meilleure position et il est parfois difficile de les distinguer (Belgacom et Skynet). Dans ce nouvel ensemble de services, on suppose qu'il existe des opportunités de marché fondamentales pour le CSP (Content Service Provider) et l'Application Service Provider (également abrégé en ASP), une hypothèse qui avait déjà été émise dans le passé mais qui ne s'est toujours pas concrétisée. Certaines fusions indiquent que des entreprises de l'industrie du loisir veulent tirer parti de cette évolution (Sony et Columbia Pictures, AOL et Time Warner). Cela va parfois si loin que les fusions ou accords font naître une intégration verticale complète du fabricant de circuits intégrés, de l'intégrateur de télécommunications, de l'opérateur réseau et du fournisseur de services.

4.3. Technologie utilisée dans le réseau d'accès et le MAN/WAN

Actuellement, l'utilisation de l'IP et de l'Ethernet[8] dans les réseaux d'accès et les MAN et WAN est largement promue. On vante les avantages de la technologie Ethernet qui est très répandue, généralement acceptée et moins chère. Ce sont surtout les CLEC et les fabricants de moyens de communication basés sur l'Ethernet (Csico) qui incitent à l'adoption de l'IP et de l'Ethernet. Ils entrevoient la possibilité de détrôner les technologies ATM et SONET basées sur le TDM dans les réseaux d'accès et les MAN et WAN (traditionnellement entre les mains des ILEC).

[8] L'ATM est parfois comparé à l'Ethernet, parfois à l'IP. En ce qui concerne le trafic des données, IP est le protocole de bout en bout dominant de la couche 3 avec Ethernet ou ATM comme protocole point à point de la couche 2. Pour la voix de bout en bout, on compare cependant l'IP (VoIP) avec l'ATM (VoATM). Il n'est donc pas toujours évident de les différencier.

Ils soulignent donc l'utilisation très répandue de l'IP comme protocole de couche 3, une technologie greffée sur l'Ethernet. L'IP et L'Ethernet sont fortement implantés dans les LAN et on pense qu'il sera possible de déployer plus rapidement des services si le réseau d'accès et le WAN et le MAN sont également basés sur l'Ethernet. Toutefois, l'IP et l'Ethernet ne sont pas encore prêts à pouvoir offrir la même qualité de service que l'ATM en raison de l'absence d'une couche MAC sensible à la QoS. C'est surtout le cas au niveau de l'octroi d'une largeur de bande garantie et dynamique. Même si des tentatives ont déjà été réalisées afin d'introduire la QoS dans l'IP, le problème se situe surtout au niveau des nœuds intermédiaires (routeurs, RAS) qui doivent être sensibles à la QoS afin de garantir une qualité de bout en bout. On prévoit que l'utilisateur aura un plus grand contrôle sur le service (contrôle basé sur le Web) et les applications (création de services). Pour rivaliser avec l'ATM, l'IP et l'Ethernet devront également offrir à l'utilisateur une évolutivité, une haute capacité, une disponibilité et supporter différents protocoles.

La VoIP est l'une des applications conçues pour l'IP. Elle permet de mener une conversation téléphonique sur l'Internet. La QoS a ici un caractère primordial. La qualité 'best effort' que l'on peut actuellement obtenir sur l'Internet n'est pas suffisante pour une téléphonie 'carrier class'. De grands efforts sont également déployés afin de développer les protocoles de signalisation nécessaires à l'établissement d'une connexion téléphonique. En outre, il faut encore décider des services qui seront offerts et des terminaux qui seront utilisés. Il faut également prévoir des ports vers le PSTN et des commutations de paquets basés sur SW. La VoIP est considérée comme une solution totale, tant au niveau du réseau d'accès que pour la transmission de voix à longue distance.

La distribution de la vidéo numérique ou VoD demande d'immenses largeurs de bande. C'est surtout au niveau du réseau d'accès que le bât blesse. Traditionnellement, on utilise le câble pour distribuer de la vidéo analogique. Cependant, la vidéo numérique est un trafic de données large bande qui connaît des pointes avec des délais de retard limités. L'ADSL n'est pas apte à fournir ce service. Mais la VDSL peut être utilisée en raison de sa plus grande largeur de bande. Il est possible d'avoir quatre canaux par utilisateur (ce qui devrait être suffisant pour un ménage moyen). Cependant, il est impossible de fournir purement et simplement un flux vidéo point à point à chaque utilisateur car le réseau serait directement saturé. C'est pourquoi il est nécessaire de développer des protocoles de signalisation et un contrôle de multidiffusion spécifique pour limiter les débits binaires. Un utilisateur qui souhaite zapper rapidement pourra cependant être déçu par le retard qu'entraînent cette signalisation supplémentaire et la mise en place d'un chemin de multidiffusion. En ce moment, FTTx semble être le meilleur candidat, surtout parce que la télédistribution analogique traditionnelle y est prise en charge en multiplexant le signal TV analogique sur une autre longueur d'onde sur la même fibre optique (WDM). Un modem FTTH dispose en général d'un sortie TV analogique coaxiale.

Le MPLS semble constituer un point de rupture dans la convergence des technologies de réseau. Il s'agit d'un protocole de couche 2 ½ qui méconnaît la couche 2 (ATM ou Ethernet) et qui permet de mettre en place des chemins QoS de bout en bout à travers un réseau. Il va de soi que tous les nœuds intermédiaires doivent être sensibles au MPLS. Il présente de grandes analogies avec l'ATM.

4.4. Problèmes dans le réseau d'accès

La Belgique est bien pourvue en réseaux de dernier kilomètre, que ce soit au niveau des paires torsadées en cuivre pour la téléphonie ou du câble coaxial pour la télédistribution. Vu la grande densité de construction en Belgique, la plupart des maisons se situent à une distance acceptable d'un CO. Cependant, ce n'est pas le cas dans tous les pays et l'offre de facilités d'accès à haute vitesse demande de rapprocher le CO de l'utilisateur. En Belgique, le nouveau câblage doit être enfoui et demande donc de gros travaux d'infrastructure. La possibilité de créer un tout nouveau réseau d'accès basé sur la fibre optique depuis le CO

jusqu'à l'habitation est donc minime. L'on optera éventuellement pour le FTTC avec VDSL jusqu'à l'habitation ou l'entreprise. Dans d'autres pays, comme le Royaume-Uni et les États-Unis, les câbles sont fixés à des poteaux et le coût de la construction de l'infrastructure est plus bas (CapEx, Capital Expenditure - investissements). Les technologies sans fil semblent offrir la solution idéale pour déployer très rapidement de nouveaux réseaux d'accès à de bas coûts d'infrastructure.

Le modèle de marché concernant le CPE varie également d'un pays à l'autre. Aux États-Unis, le modem demeure la propriété de l'ASP et est fixé à l'extérieur de la maison. En Belgique, le modem appartient à l'utilisateur et celui-ci assume également la responsabilité de son bon fonctionnement. Si des services de téléphonie sont également proposés via ce modem en tant qu'élément d'une offre de service triple, il faut prévoir un dispositif garantissant que le téléphone fonctionne encore même en cas de coupure de courant. Si le réseau d'accès comprend des composants actifs (amplificateurs, répéteurs), les OpEx (Operational Expenditure – coûts d'exploitation) sont plus importants. Tous ces éléments doivent être pris en compte dans le choix d'un nouveau réseau d'accès.

Un autre problème, atypique pour un petit pays comme la Belgique, mais fréquent dans de grands pays, est la répartition des WAN. Les ASP n'ont pas tous un réseau national et ne peuvent donc proposer de nouvelles solutions d'accès qu'à l'échelle régionale. Ce sont surtout les CLEC qui sont confrontés à ce problème car ils sont souvent obligés de louer les installations des ILEC. En général, le réseau d'accès (le dernier kilomètre) appartient également aux ILEC. Compte tenu de la nouvelle législation relative au dégroupage de la boucle locale, l'ILEC est cependant tenu d'ouvrir la boucle locale à d'autres ASP. Cela permet ainsi au CLEC de placer son propre appareillage (DSLAM) dans le CO de l'ILEC et de se connecter directement à son WAN. En réalité, le DSLAM et les installations de l'ILEC sont encore souvent utilisés et seul le RAS appartient au CLEC.

Le manque de personnel formé constitue également un problème. La phase d'apprentissage du personnel technique est particulièrement longue pour les réseaux ATM traditionnels. Le nombre de techniciens possédant une expérience de l'Ethernet est sensiblement supérieur, ce qui constitue un incitant supplémentaire pour adopter la technologie de l'Ehternet dans le réseau d'accès et dans le MAN et le WAN. De très nombreux ILEC possèdent également un appareillage obsolète qui doit être remplacé et leur mise à niveau progressive sera un grand défi. Le choix de la technologie, IP sur Ethernet ou ATM, constituera un aspect extrêmement important dans ce cadre. On prévoit une introduction progressive de l'IP, tant dans les systèmes sans fil que dans les systèmes câblés.

Le souci du client et l'effort demandé de la part de l'utilisateur pour l'installation, la configuration et la maintenance d'un modem demeurent un handicap dans le déploiement des réseaux d'accès. Ainsi, lors du déploiement initial de l'ADSL, de nombreuses maladies de jeunesse ont été aggravées par des connaissances et un support insuffisants de l'ASP.

5. Providers et Fournisseurs, Normes et Législation

L'accès à large bande est disponible en Belgique depuis cinq ans environ et l'on prévoit que le nombre d'utilisateurs de la large bande dépassera encore le million cette année. Pour les prochaines années, la croissance devrait être d'au moins 20 %. Les premiers opérateurs à avoir proposé un accès à large bande à des utilisateurs privés sont Skynet pour l'ADSL (ligne téléphonique) et Telenet en Flandre, UPC à Bruxelles et Brutélé à Bruxelles et en Wallonie pour le DOCSIS (câble). Avec le dégroupage de la boucle locale, bon nombre de nouveaux CLEC ont fait leur apparition. En général, ils louent l'infrastructure de l'ASP historique (les CLEC peuvent également placer eux-mêmes un DSLAM dans le CO de l'ILEC et construire un WAN mais les investissements et les coûts d'exploitation sont probablement trop élevés pour être rentables). Les fournisseurs d'accès ADSL les plus

connus sont Planet Internet, Tiscali (qui a repris Wanadoo) et XS4all. Il n'y a pas de CLEC pour le réseau câblé. Le GPRS est proposé par Proximus et Mobistar et l'I-Mode par Base.

En ce qui concerne l'appareillage réseau et les modems, il y a lieu de faire une distinction entre les fabricants de circuits intégrés (Texas Instruments, Motorola, GlobeSpan, ST Microelectronics, etc.) qui commercialisent par exemple un chipset DSL, modem câble ou jeu de puces UMTS, et les intégrateurs qui construisent l'ensemble du système (Cisco, Alcatel, Nortel, Nokia, etc.). En général, ces entreprises sont fortes dans l'une ou l'autre technologie mais une grande diversification est nécessaire pour conquérir une part de marché.

La mise au point de nouveaux produits pour le réseau d'accès est un processus complexe et dépend de la maturité de la technologie, des intérêts commerciaux, de la normalisation [20] et de la segmentation du marché. Cisco, par exemple, se concentrait traditionnellement sur les technologies Ethernet et IP et produisait surtout des routeurs et des commutateurs pour les LAN, WAN et le réseau dorsal. Progressivement, Cisco a élargi son éventail de produits en y intégrant des produits axés sur la VoIP, la sécurité, les VPN, la gestion des réseaux, etc. Afin de pouvoir offrir une solution de bout en bout, ils veulent cependant aussi conquérir une part de marché de la DSL. Leur stratégie ne consiste pas à commercialiser un autre modem ADSL ou APON mais à promouvoir une toute nouvelle norme, à savoir l'Ethernet sur le premier kilomètre (EFM). Cisco part du principe qu'ils auront plus de succès en développant un nouveau produit basé sur une technologie connue et bon marché qu'en tentant de concurrencer le marché ADSL ou PON. Une alliance s'est formée entre des opérateurs, des fabricants de circuits intégrés et des intégrateurs afin de stimuler la normalisation de cette technologie au sein du groupe IEEE 802.3ah (EFM). Lorsqu'on participe au processus de normalisation, cela signifie qu'on a l'opportunité de faire inclure ses propres idées dans la norme, des idées que l'on peut bien évidemment faire breveter au préalable. Le portefeuille de brevets d'un intégrateur est un aspect extrêmement important dans la façon dont différents intégrateurs se maintiennent mutuellement en équilibre. Dans ses produits, chaque intégrateur utilise des brevets d'un autre intégrateur. Tant que les portefeuilles de brevets sont équilibrés, on ne fera constater aucune infraction. Il est donc extrêmement important pour les fabricants de circuits intégrés et les intégrateurs de participer au processus de normalisation.

Ce n'est que récemment que par exemple Alcatel a décidé d'intégrer la technologie Ethernet dans ses produits de réseaux d'accès. Alcatel utilisait traditionnellement l'ATM comme protocole de couche 2 (APON, ADSL) et craignait de soutenir l'Ethernet car ses clients (les opérateurs) risquaient d'interpréter cela comme un signal qu'elle ne croyait plus en l'ATM. Cependant, si Alcatel n'avait pas participé à l'EFM, elle aurait perdu irrémédiablement du terrain dans le développement de produits et dans le processus de normalisation. Depuis l'année passée, Alcatel est donc également active dans le domaine de l'EDSL, de l'EPON et de l'Ethernet DSLAM. Le choix de certaines technologies et de certains produits demande donc un examen très minutieux des intérêts en jeu.

Le processus de normalisation est dirigé par toute une série d'instituts de normalisation, des forums, des groupes de travail et des alliances, souvent réparties entre les Etats-Unis et l'Europe. Dans le domaine des télécommunications, ce sont l'IEEE [22] et l'ANSI (American National Standardisation Institute, [21]) qui sont responsables de la normalisation aux Etats-Unis, l'Ethernet et le WLAN faisant partie des normes les plus connues élaborées par ces organismes. En Europe, c'est l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute, [23]) qui normalise par exemple le GSM, l'UMTS et l'HiperLAN. Les organismes internationaux sont l'ITU (International Telecommunication Union, [24]), qui est notamment responsable du xDSL et du xPON, et l'IEC (International Electrotechnical Commission, [25]). L'IETF (Internet Engineering Task Force, [26]) est un organisme de normalisation qui spécifie principalement des normes Internet et des protocoles de couche supérieure.

Les législations et projets à l'échelle nationale et internationale guident considérablement le développement et le déploiement des réseaux d'accès à large bande. L'IST (Information Society Technologies, [28]) est un organisme européen qui soutient financièrement des projets informatiques internationaux. En général, un groupe de projet en télécommunications se compose d'opérateurs, d'intégrateurs, de fabricants de circuits intégrés et d'universités de différents pays d'Europe et il s'y opère une pollinisation croisée productive. Raccorder les européens à la large bande est également une priorité de l'Union européenne. Selon l'UE, la large bande stimulera la création d'entreprises, la productivité et le sens de l'innovation dans divers secteurs économiques. Elle augmentera la participation à la société et améliorera le niveau de vie grâce à un meilleur enseignement, à de meilleurs soins de santé, à l'avènement du gouvernement électronique et du télétravail. Le développement de réseaux d'accès à large bande est une priorité d'eEurope2005, un plan d'action devant faire en sorte que les pays d'Europe occupent un rôle dominant dans l'économie Internet [29].

6. Les Réseaux d'accès à haute vitesse et la Sécurité sociale

Une application évidente de la large bande est l'introduction du télétravail pour les fonctionnaires de la Sécurité sociale. Cela nécessite une connexion à haute vitesse protégée entre le domicile du fonctionnaire et le réseau de l'institution. Il s'agit dans ce contexte d'un VPN (Virtual Private Network). Par souci de clarté, nous commencerons par définir plus amplement la notion de VPN. Dans la littérature, un VPN a deux significations :

- Un VPN peut être considéré comme un moyen de raccorder des utilisateurs mobiles, des succursales et des télétravailleurs au réseau de l'entreprise en passant par leur ASP local. Grâce à une fonctionnalité supplémentaire incluse dans le serveur RAS de l'ASP (segmentation de routeurs, etc.), le serveur RAS offre un accès direct au LAN de l'institution.
- Le VPN est ici un moyen de créer un réseau privé protégé (p. ex. connexion entre 2 LAN) sur un réseau public (p. ex. l'Internet) au moyen d'un tunnel.

Cette première méthode offre le plus de garanties au niveau de la sécurité puisque l'Internet public n'est pas utilisé pour la connexion. On peut également continuer à utiliser l'espace d'adressage privé de l'institution sans que l'ASP doive attribuer une adresse IP publique. Cependant, l'ASP doit configurer un LAN pour l'institution sur le RAS, ce qui augmente les coûts d'exploitation (OpEx). Le RAS de l'ASP peut utiliser le serveur d'authentification de l'institution pour le contrôle d'accès.

La seconde solution est la moins coûteuse puisqu'on utilise une connexion Internet standard en passant par un ASP et un ISP. Il faut cependant prévoir des piles de protocole supplémentaires pour créer un tunnel protégé entre l'utilisateur et le réseau de l'institution (IPSec, IP Security). L'institution doit également gérer le serveur d'accès qui termine ce tunnel. Il est encore possible d'utiliser l'espace d'adressage privé de l'institution mais l'ISP doit cependant attribuer une adresse IP publique pour permettre la connexion avec l'Internet (ce qui pose problème car les adresses IP sont limitées). Cette construction est moins sûre car il est théoriquement possible qu'un intrus accède, par l'Internet, au PC de l'utilisateur et cherche à partir de là à avoir accès au LAN de l'institution.

Le remplacement des lignes louées (E1) par une SDSL ou VDSL moins onéreuse (pas encore disponible en Belgique) peut également entraîner une économie de coûts. La construction d'un WLAN réduit les coûts d'infrastructure (câblage) et augmente la mobilité.

Il semble probable que dans l'avenir, on utilisera un seul réseau IP prenant en charge tant les données, la vidéo que la voix. Le développement d'une infrastructure VoIP utilisant le LAN au lieu du PABX (Private Automatic Branch Exchange) et des lignes téléphoniques peut également entraîner une économie de coûts et soutenir une collaboration poussée. Le télétravailleur peut utiliser sa connexion à haut débit pour téléphoner ou organiser une vidéoconférence avec l'institution ou d'autres télétravailleurs.

À mesure qu'un nombre croissant d'utilisateurs (citoyens, entreprises) disposeront d'un accès à haute vitesse à l'Internet, des applications plus riches de gouvernement électronique pourront être proposées. Les nouvelles technologies d'accès favorisent considérablement le développement d'un véritable guichet électronique pour la sécurité sociale avec des modules 'self-service', où les entreprises peuvent introduire leurs déclarations et consulter des informations et données. Les demandes de collaboration et de création de groupes d'utilisateurs où les citoyens, les intermédiaires (CPAS, FOREM) et les entreprises peuvent communiquer entre eux et échanger des expériences augmenteront sensiblement. Les organismes de la sécurité sociale peuvent l'anticiper et offrir le soutien nécessaire pour rendre tout cela possible.

Un cas typique est celui de l'entrepreneur qui rencontre des problèmes pour remplir une déclaration en ligne. Après avoir consulté le glossaire et la rubrique de la foire aux questions, il ne trouve toujours pas la réponse qu'il cherche. Il demande de l'aide à un centre de contact. Au centre de contact, personne n'est immédiatement disponible mais en utilisant le calendrier en ligne de l'entrepreneur, le centre de contact fixe un rendez-vous. À l'heure convenue, une conférence vidéophonique est ouverte avec l'entrepreneur qui se trouve à ce moment-là à un autre endroit mais qui peut être joint sans problème grâce aux informations de présence. La déclaration est remplie grâce à la vidéophonie et à une navigation simultanée.

7. Conclusion

Le développement de l'ADSL et des réseaux d'accès par câble à haut débit permettra d'achever l'émancipation du citoyen. Les directives européennes stimulent l'octroi d'un accès réseau à large bande à chaque citoyen européen afin de mettre en place un véritable gouvernement électronique. En Belgique, la sécurité sociale exploite déjà utilement les nouvelles possibilités offertes par des débits plus rapides et l'intégration de services de base, comme les données, la vidéo et la voix. La collaboration et les applications multimédia, telles que la vidéoconférence, l'apprentissage électronique, le télétravail et le VoIP ou MMoIP occuperont une place importante dans la communication avec le citoyen.

Il est important de continuer à suivre l'évolution de l'Ethernet dans le réseau d'accès et le MAN/WAN. La promesse de technologies moins chères, d'une meilleure intégration avec les infrastructures (LAN) existantes et une gestion plus simple peut constituer un incitant supplémentaire à la pénétration des réseaux d'accès à large bande auprès des citoyens et des petites et moyennes entreprises. À long terme, le remplacement d'une ancienne infrastructure de lignes louées par de nouvelles technologies d'accès peut générer une économie de coûts. Le remplacement de la technologie PABX par la technologie VoIP peut également conduire à des économies mais il va de soi que la QoS joue ici un rôle important.

8. Références

[1] Michel Laloy, « De Telecommunicatiemarkt na 4 Jaar Liberalisering », Techno 23, SmalS-MvM, nov. 2002.

[2] Nils Holte, « Broadband Access, Properties of the Copper Network », http://www.tele.ntnu.no/projects/beats/Documents/Kursd02.pdf, NTNU, jan. 2002.

[3] « SunSet xDSL: Wideband Power Spectral Density Measurements for DSL », Sunrise Telecom, 2001.

[4] DSL Forum, http://www.dslforum.org

[5] Alliance VDSL, http://www.vdslalliance.com

[6] Coalition VDSL, http://www.vdslcoalition.net

[7] Modems câbles, http://www.cable-modems.org

[8] CableLabs, http://www.cablemodem.com

[9] FSAN, http://www.fsanweb.org

[10] PON Forum, http://www.ponforum.org

[11] UMTS, http://www.imt-2000.org

[12] UMTS, http://www.umtsworld.com

[13] Philippe Peeters, « Wireless Applications – Vers des applications nomades: une introduction », Deliverable SmalS-MvM, oct. 2000.

[14] UMTS, http://www.nt.tuwien.ac.at/mobile/projects/UMTS/en

[15] IEEE, http://grouper.ieee.org/groups/802/11

[16] WiFi, http://www.wi-fi.org

[17] HiperLan, http://www.hiperlan2.com

[18] Forum PLC, http://www.plcforum.org

[19] PLC, http://www.6power.net

[20] Michel Laloy, « Inleiding tot de Normalisatie », Techno 16, SmalS-MvM, fév. 2000.

[21] ANSI, http://www.ansi.org

[22] IEEE, http://www.ieee.org

[23] ETSI, http://www.etsi.org

[24] ITU, http://www.itu.org

[25] IEC, http://www.iec.ch

[26] IETF, http://www.ietf.org

[27] EFM, http://grouper.ieee.org/groups/802/3/efm

[28] IST, http://www.cordis.lu/ist

[29] « “eEurope 2005, an Information Society for All », http://europa.eu.int/information_society/eeurope/news_library/eeurope2005/index_en.htm, 28 mai 2002.

9. Glossaire et Abréviations

Abréviation	En toutes lettres	Explication
ADSL	Asymmetric of ATM DSL	Système xDSL avec ATM comme protocole de couche 2
ANSI	American National Standardisation Institute	
APON	ATM PON	
ASP	Access Service Provider Application Service Provider	
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Technique de transport de cellules de taille fixe (53 B)
BPON	Broadband PON	
BRAS	Broadband RAS	
BW	Bandwidth	Terme issu du monde analogique. Il s'agit de la largeur de la bande de fréquence utilisée ; est cependant utilisé aussi pour exprimer le débit binaire
CAP	Carrierless Amplitude and Phase	Technique de modulation du xDSL
CapEx	Capital Expenditure	
CCK	Complementary Code Keying	
CDMA	Code Division Multiple Access	Technique de multiplexage de la puissance
CLEC	Competitive Local Exchange Carrier	
CPE	Customer Premises Equipment	Le modem de l'utilisateur
CO	Central Office	
CSMA/CD or CA	Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection or Avoidance	
CSP	Content Service Provider	
DARPA	Defense Advanced Research Project Agency	Développement américain
DECT	Digital Enhanced Cordless Telephony	
DMT	Discrete Multi-Tone	Technique xDSL dans laquelle le spectre est réparti
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification	Protocole de couche 1 d'un réseau d'accès par câble coaxial
DSL	Digital Subscriber Loop	
DSLAM	DSL Access Multiplexer	Modem DSL et mutliplexeur chez l'ASP
E1		Connexion de 32*64 kb/s = 2 Mb/s
EDGE	Enhanced Data for GSM Evolution	
EDSL	Ethernet DSL	Système xDSL avec Ethernet comme protocole de couche 2
EFM	Ethernet in the First Mile	
Ethernet		Technique de transport de paquets de taille variable (< 1518 B)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Technique de multiplexage de fréquence
Frame Relay		Réseau à commutation de paquets de données, vidéo et voix, architecture en maille ou en étoile, jusqu'à 2 Mb/s
FSK	Frequency Shift Keying	Technique de modulation où les données numériques (0 ou 1 numérique) sont greffées sur différentes fréquences.
FTTB	Fiber-to-the-Business	
FTTC	Fiber-to-the-Curb	Connexion en fibre optique qui va jusqu'au trottoir situé devant la maison

FTTCab	Fiber-to-the-Cabinet	Connexion en fibre optique qui va jusqu'à la boîte de distribution située dans la rue
FTTH	Fiber-to-the-Home	
GPON	Gigabit PON	
GSM	Global System for Mobile communications	
GPRS	General Packet Radio Service	
HDSL	High bitrate DSL	Jusqu'à 2 Mb/s de débit symétrique sur 2 paires torsadées
HDTV	High Definition Television	
HFC	Hybrid Fiber Coax	Système de télédistribution
HLR	Home Location Register	Enregistre les utilisateurs mobiles présents dans une certaine cellule
HSCD	High Speed Circuit Switched Data	
HTTP	Hypertext Transfer Protocol	
IEC	Int. Electrotechnical Commission Int. Engineering Consortium	
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	
IETF	Internet Engineering Task Force	
ILEC	Incumbent Local Exchange Carrier	Opérateur de téléphonie fixe historique
IN	Intelligent Network	architecture permettant de proposer des services supplémentaires (comme l'IVR) par le réseau téléphonique
IP	Internet Protocol	
IPSec	IP Security	
ISDN	Integrated Service Digital Network	
ISI	Inter Symbol Interference	L'influence du grésillement d'un bit sur des bits voisins en cas de communication numérique
ISP	Internet Service Provider	
ITU	International Telecommunication Union	
IVR	Interactive Voice Response	
LAN	Local Area Network	
LMDS	Local Multipoint Distribution Service	
LOS	Line Of Sight	
M2E	Mouth-to-Ear	Norme pour le retard en téléphonie
MAC	Media Access Control	Technique permettant d'envoyer un paquet sur une connexion
MAN	Metropolitan Area Network	
MBS	Mobile Broadband System	
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution Service	
MMoIP	Multi-Media over IP	
MP3		Format MPEG de compression de la voix
MPEG	Moving Picture Expert Group	Format de compression vidéo
MPLS	Multi Protocol Label Switching	Protocole de couche 2½ qui permet d'établir des connexions de bout en bout avec des garanties de qualité
MSC	Mobile Service Switching Center	
MSS	Mobile Satellite Systems	
NLOS	Near LOS	
NSP	Network Service Provider	
NSFNET	National Science Foundation Network	Réseau dorsal Internet originel
OFDMA	Othogonal FDMA	

ONT	Optical Netwerk Terminal	
ONU	Optical Netwerk Unit	
OpEx	Operational Expenditure	
OSI	Open System Interconnection	Cadre pour l'implémentation du protocole
P2P	Peer-to-Peer, Point-to-Point	Connexion entre utilisateurs
PABX	Private Automatic Branch Exchange	Central téléphonique privé
PLAN	Private LAN	
PLC	Power Line Communication	
PoP	Point of Presence	
PPP	Point-to-Point Protocol	Configuration de la liaison et du réseau et protocole d'encapsulation de paquets
PSK	Phase Shift Keying	
PSTN	Public Switched Telephone Network	Réseau téléphonique commuté traditionnel
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Technique de modulation où les données numériques (0 ou 1 numérique) sont greffées sur différentes amplitudes et phases de signaux
QoS	Quality of Service	
RADSL	Rate Adaptive DSL	
RNC	Radio Network Controller	
SAR	Segmentation and Re-assembly	
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Protocole de transmission sur la couche ½ dans le modèle OSI
SDSL	Symmetrical DSL	Jusqu'à 2Mb/s de débit symétrique sur une paire torsadée
SLA	Service Level Agreement	
SMS	Short Messaging Service	
SONET	Synchronous Optical Network	Protocole de transmission sur la couche ½ dans le modèle OSI
TCP	Transmit Control Protocol	Livraison fiable des paquets et contrôle du trafic
TDMA	Time Division Multiple Access	Technique de multiplexage du temps
UDP	User Datagram Protocol	Livraison suspecte de paquets
UHF	Ultra High Frequency	300 MHz – 3 GHz
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	
UTP	Unshielded Twisted Pair	
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network	
VBD	Voice Band Data	Concept modem original
VDSL	Very high bitrate DSL	
VHF	Very High Frequnecy	30 MHz – 300 MHz
VLR	Visitor Location Register	Enregistre les utilisateurs mobiles en visite qui sont présents dans une certaine cellule
VoATM	Voice over ATM	Voix sur réseaux cellulaires
VoD	Video on Demand	Vidéo payante sur demande
VoIP	Voice over IP	Voix sur réseaux de paquets
VPN	Virtual Private Network	
W-CDMA	Wideband CDMA	
WAN	Wide Area Network	
WAP	Wireless Application Protocol	
WDM	Wave Division Multiplexing	
WiFi	Wireless Fidelity	
WLAN	Wireless LAN	Réseaux sans câbles
WPA	Wireless Protected Access	
X.25		Réseau à commutation de paquets, architecture en étoile, jusqu'à 64 kb/s